

◆ 残留与环境 ◆

苯醚甲环唑在桃上的消解行为及膳食风险评估

王富芸¹, 赵丹¹, 刘宇^{1,2}, 马成³, 朱宇珂³, 李莉^{1*}

(1. 山西农业大学农业有害生物综合治理山西省重点实验室, 太原 030031; 2. 内蒙古大学生态与环境学院, 呼和浩特 010020; 3. 中国科学院动物研究所, 农业虫害鼠害综合治理国家重点实验室, 北京 100101)

摘要: 为研究苯醚甲环唑在桃上残留行为及膳食暴露风险, 本文基于超高效液相色谱-串联质谱 (UPLC-MS/MS) 建立了苯醚甲环唑在桃上的残留分析方法, 通过规范残留田间试验得到了其在桃上的消解动态和最终残留量, 并对我国不同消费群体的膳食暴露风险进行了评估。结果表明, 在 0.010~2.5 mg/L 范围内, 苯醚甲环唑的质量浓度与其峰面积的线性关系良好 ($R^2 > 0.999$); 在 0.020~1.0 mg/kg 添加水平下, 苯醚甲环唑的平均回收率为 75%~102%, 相对标准偏差 (RSD) 为 1.9%~4.8%, 定量限 (LOQ) 为 0.02 mg/kg。苯醚甲环唑在桃中的消解动态符合一级动力学方程, 半衰期为 6.60~13.08 d。苯醚甲环唑按推荐有效剂量 133.3 mg/kg 施药 2 次, 施药间隔期为 7 d, 距末次施药 21 d 时采集, 苯醚甲环唑在桃上的残留中值为 0.065 mg/kg, 最大值为 0.41 mg/kg。桃中苯醚甲环唑对慢性膳食暴露风险商的贡献率为 0.007%~0.380%, 急性暴露风险商为 1.50%~5.97%, 表明苯醚甲环唑在桃上的残留不会对我国不同消费群体产生潜在的膳食风险, 但儿童暴露风险高于一般人群。本试验结果为苯醚甲环唑在桃上的安全使用提供了理论依据。

关键词: 桃; 苯醚甲环唑; 消解行为; 膳食风险评估

中图分类号: TQ 450 文献标志码: A doi: 10.3969/j.issn.1671-5284.2023.02.010

Dissipation Behavior and Dietary Risk Assessment of Difenconazole in Peach

WANG Fuyun¹, ZHAO Dan¹, LIU Yu^{1,2}, MA Cheng³, ZHU Yuke³, LI Li^{1*}

(1. Shanxi Key Laboratory of Integrated Pest Management in Agriculture, Shanxi Agricultural University, Taiyuan 030031, China; 2. School of Ecology and Environment, Inner Mongolia University, Hohhot 010020, China; 3. State Key Laboratory of Integrated Management of Pest Insects and Rodents, Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract: To investigate the dissipation behavior and dietary risk of difenconazole in peach, an analytical method for the determination of difenconazole in peach was developed based on ultra-high performance liquid chromatography coupled with tandem mass spectrometry (UPLC-MS/MS). The dissipation dynamics and final residues were obtained via standardized field experiments, and the dietary exposure risk of different groups of Chinese consumers was evaluated. The results showed that there was good linear correlation between the mass concentration of difenconazole and its peak area in the range of 0.010-2.5 mg/L ($R^2 > 0.999$). At the spiking level of 0.020-1.0 mg/kg, the average recoveries of difenconazole in peach were 75%-102%, and the relative standard deviation (RSD) were 1.9%-4.8%. The limits of quantitation (LOQ) was 0.02 mg/kg. The dissipation dynamics of difenconazole in peach were accordance with the first-order kinetic equation, and the half-lives were 6.60-13.08 d. Difenconazole was applied for twice with the interval of 7 d at the recommended

收稿日期: 2022-09-19

基金项目: 山西省博士毕业生来晋工作科研项目 (SXBYKY2022055)

作者简介: 王富芸 (1997—), 女, 贵州纳雍人, 硕士研究生, 研究方向为农药残留风险评估。E-mail: 2064565385@qq.com

通信作者: 李莉 (1981—), 女, 山西长治人, 博士, 副研究员, 主要从事农药登记管理和残留风险评估研究工作。E-mail: sxaulili@sxau.edu.cn

effective dosage of 133.3 mg/kg, and peach samples were collected at 21 d after the last application. The median residual value of difenoconazole in peach was 0.065 mg/kg, and the maximum residue was 0.41 mg/kg. The dietary risk assessment results of chronic exposure showed that the contribution rate of difenoconazole in peach to risk quotients were 0.007%-0.38%, and acute exposure risk quotients were 1.50%-5.97%, indicating that residues of difenoconazole in peach could not pose potential dietary risk to different groups of Chinese consumers, but children had a higher exposure risk than the general population. The findings provided reference for secure use of difenoconazole in peach.

Key words: peach; difenoconazole; dissipation behavior; dietary risk assessment

桃 (*Amygdalus persica* L.) 属蔷薇科李属桃亚属,为多年生落叶果树^[1],在我国栽培历史悠久^[2]。桃营养丰富,具有较高的药用和食用价值^[3],然而在实际生产栽培过程中,常有穿孔病、炭疽病和灰霉病等病害的发生^[4]。研究表明,使用杀菌剂是防治病虫害最为有效的手段之一^[5]。

苯醚甲环唑 (Difenoconazole) 是一种三唑类杀菌剂,因其具有高效、低毒、广谱、对非靶标生物安全和持效期长等特点,近年来得到广泛应用^[6]。苯醚甲环唑可用于防治桃软腐病^[7]、炭疽病^[8]、苹果、山核桃及杏树疮痂病^[9]等病害,但其在作物上以及水体中的残留对生态系统、水生生物乃至人类都具有潜在的风险^[10]。因此,我们需要对苯醚甲环唑进行严格监测,以评估其对人类和环境带来的健康风险。

目前,关于苯醚甲环唑的残留分析与膳食风险评估的报道集中在火龙果^[11]、西瓜^[12]、香蕉^[13]和稻米^[14]等作物上,而对桃的报道相对较少。本研究基于超高效液相色谱-串联质谱建立了苯醚甲环唑在桃上的残留分析方法,通过规范残留田间试验,得到桃主要种植地区的样品中苯醚甲环唑残留消解规律及最终残留量,并结合我国不同消费群体的桃膳食消费量进行了急性和慢性膳食风险评估,旨在为该农药在桃上的科学合理使用提供基础性建议。

1 材料与方法

1.1 仪器与试剂

试验仪器: Waters ACQUITY UPLC H-Class/Xevo TQD 超高效液相色谱-串联质谱仪,美国沃特世公司; SC-3612台式离心机,安徽中科中佳科学仪器有限公司; HM294均质机,福斯华(北京)科贸有限公司; KQ-600超声波清洗器,昆山超声仪器有限公司; S30UV纯水系统,上海和泰仪器有限公司。

试验试剂: 苯醚甲环唑标准品(纯度96.3%), 先正达公司; 乙腈(色谱纯), 美国赛默飞化学品公司; 甲酸(色谱纯), 上海安谱科学仪器有限公司; 氯化钠(分析纯), 北京市通广精细化工公司。

1.2 试验设计

1.2.1 田间试验设计

本研究依据NY/T 788—2018《农作物农药残留试验准则》^[15],于2018年6月—2020年8月在北京市、河南驻马店市、安徽省宿州市、辽宁省大连市、山西省晋中市、河南省济源市、山东省潍坊市和河北省保定市8地进行40%苯醚甲环唑乳油在桃上的消解及最终残留试验。每个试验点设计1个处理小区和1个对照小区,每个小区种植桃树不少于4株,小区间设保护带。试验地基本概况见表1。

表 1 田间试验地基本概况

试验编号	试验地点	试验项目	品种	气候因子
1	北京市大兴区	消解、终残	晚白凤	暖温带半湿润大陆性季风气候
2	河南省驻马店市	消解、终残	雪桃	大陆性暖温带季风气候
3	安徽省宿州市	消解、终残	中秋红密	温带季风气候
4	辽宁省大连市	消解、终残	黄金桃	温带季风性气候
5	山西省晋中市	终残	大久保	温带大陆性季风性气候
6	河南省济源市	终残	映霞红	大陆性暖温带季风气候
7	山东省潍坊市	终残	春雪桃	暖温带半湿润大陆性季风气候
8	河北省保定市	终残	毛桃酒保	暖温带大陆性季风气候

1.2.2 最终残留试验

按照有效剂量133.3 mg/kg于桃树褐斑病穿孔

病发病初期喷雾施药 2次,间隔7 d。采样时间分别为末次施药后21、28 d和35 d, 每个处理2次重复,

对照小区于末次施药后21、35 d采集样品。

1.2.3 残留消解试验

按照有效剂量133.3 mg/kg于桃树发病初期喷雾施药 2次,间隔7 d。采样时间为末次施药后0(2 h)、7、14、21、28 d和35 d,每个处理2次重复,对照小区于末次施药后0(2 h)、35 d采集样品。

1.2.4 样品采集

按设计方案中采集时间要求,随机在试验小区内采集12个生长正常、无病害和成熟的桃果实,重量在2 kg以上。处理小区每次采集2个样品,对照小区每次采集1个样品。采集的样品去除果核,用不锈钢刀切成1~2 cm²大小碎块,在不锈钢盆中将其充分混匀,用四分法缩分样品,于-20℃条件下保存备用。

1.3 分析方法

1.3.1 仪器条件

色谱条件。Acquity UPLC BEH C₁₈色谱柱(100 mm×2.1 mm,1.7 μm);进样量:3 μL;柱温:30℃;流速:0.3 mL/min。梯度洗脱条件见表2。

表 2 液相色谱检测桃果实中苯醚甲环唑残留梯度洗脱条件

时间/min	流速/(mL·min ⁻¹)	乙腈/%	0.05%甲酸水/%
0	0.3	10.0	90.0
1.50	0.3	90.0	10.0
3.00	0.3	90.0	10.0
3.10	0.3	10.0	90.0
5.00	0.3	10.0	90.0

质谱条件。扫描方式:电喷雾离子源ESI⁺,毛细管电压:3.0 kV;锥孔电压:30 V;锥孔气流量:50 L/h;离子源温度:150℃;脱溶剂温度:400℃;脱溶剂气流量:700 L/h;多反应监测模式(MRM)。其他质谱参数见表3。

1.3.2 样品前处理

准确称取10.00 g粉碎后的桃样品,将其置于50 mL离心管中,加入10 mL乙腈混合均匀,超声波振荡提取15 min,随后加入6 g氯化钠,剧烈摇动1.5 min,于3 000 r/min离心5 min。过0.22 μm滤膜后吸取1 mL上清液至进样小瓶中,待测。

表 3 质谱检测桃果实中苯醚甲环唑残留多重反应监测模式测定参数

供试物	保留时间/min	定性离子对 (m/z)	定量离子对 (m/z)	锥孔电压/V	碰撞电能/eV
苯醚甲环唑	3.49	406.156/110.974	406.156/251.011	46	26
				46	54

1.4 标准溶液配制及标准曲线绘制

准确称取标准品,用乙腈配制质量浓度为1 013 mg/L苯醚甲环唑标准母液,并逐级稀释成0.1、0.25、0.5、1.0、2.5、5.0、10 mg/L和25 mg/L标准混合溶液,样品测定时稀释至0.010、0.025、0.050、0.10、0.25、0.50、1.0 mg/L和2.5 mg/L进行测定。以标准工作溶液质量浓度为横坐标,对应峰面积为纵坐标绘制标准曲线。

1.5 添加回收试验

分别在桃空白样品中添加0.020、0.050、0.50 mg/kg和1.0 mg/kg 4个水平的苯醚甲环唑标准混合溶液,每个水平重复5次。依据1.4节所述方法进行处理与分析测定,分别计算添加回收率及相对标准偏差。

1.6 数据处理

1.6.1 消解动力学分析

苯醚甲环唑在桃上的消解规律符合一级动力学方程,按照式(1)进行拟合,按照式(2)计算半衰期。

$$C_t=C_0e^{-kt} \tag{1}$$

$$t_{1/2}=\ln 2/k \tag{2}$$

式中: C_t为施药后第t d的农药残留量,mg/kg; C₀为原始沉积量,mg/kg; k为消解系数,t为施药后间隔时间,d; t_{1/2}为半衰期,d。

1.6.2 慢性膳食暴露风险评估

采用JMPR推荐的方法^[6]按式(3) (4) 计算国家估算每日摄入量(NEDI)和慢性风险商(RQ_c)。

$$NEDI=\frac{\sum STMR_i \times F_i}{bw} \tag{3}$$

$$RQ_c\%=\frac{NEDI}{ADI} \times 100 \tag{4}$$

式中: STMR_i为规范残留试验中值,mg/kg; F_i为膳食消费量,g/d; ADI为每日允许摄入量,mg/(kg bw),bw为消费人群平均体重,kg。

由于目前缺乏苯醚甲环唑在其他登记作物上的规范残留试验中值,故不能计算包含所有登记作物在内的膳食暴露量NEDI值,因此本文只计算桃中苯醚甲环唑残留膳食暴露占NEDI的份额,以及对RQ_c的贡献率,%。当RQ_c≤100%时,表示其慢性膳食摄入风险可以接受;当RQ_c>100%时,表示其慢性膳

食风险不可接受。

1.6.3 急性膳食暴露风险评估

采用JMPR推荐的方法^[17]按式(5)(6)计算国际估算短期摄入量(IESTD)和急性风险商(RQ_a)。

$$IESTI=\frac{U_e\times HR\times v+(LP-U_e)\times HR}{bw}\tag{5}$$

$$RQ_a\%=\frac{IESTI}{ARfD}\times 100\tag{6}$$

式中:U_e为单个桃果重量,kg;HR为农药最高残留量,mg/kg;v为变异因子;LP为大份餐,即居民对桃的大份额消费量,kg/d;bw为消费人群平均体重,kg。ARfD为急性参考剂量,mg/(kg bw)。急性风险商(RQ_a)以IESTI占ARfD的百分比(%ARfD)来表示,当%ARfD≤100%时,表示急性膳食暴露风险可以接受;当%ARfD>100%时,表示其急性膳食暴露风险不可接受,数值越大,风险越大。

2 结果与分析

2.1 方法有效性评价

试验首先建立了桃中苯醚甲环唑残留分析方法,并对方法的准确度、精密度、定量限和重复性进行了评价。结果表明,在0.010~2.5 mg/L范围内,苯醚甲环唑在乙腈中的回归方程为y=382 726x+6 902.5, R²=0.999 6。如表4所示,当添加水平在0.020、0.050、0.50 mg/kg和1.0 mg/kg时,平均回收率在75%~102%,相对标准偏差在1.9%~4.8%,定量限均为0.02 mg/kg。试验结果表明,本方法的线性、准确度和精密度等均符合农药残留检测要求。

表 4 苯醚甲环唑在桃上的添加回收率和相对标准偏差 (n=5)

基质	药剂	添加水平/ (mg·kg ⁻¹)	平均 回收率/%	相对 标准偏差/%
桃	苯醚甲环唑	0.020	102	2.3
		0.050	75	4.8
		0.50	91	1.9
		1.0	97	4.7

表 6 苯醚甲环唑在桃上的最终残留结果

施药有效剂量/(mg·kg ⁻¹)	施药次数	采收间隔期/d	残留量范围/(mg·kg ⁻¹)	STMR/(mg·kg ⁻¹)	HR/(mg·kg ⁻¹)
桃	2	21	<0.02~0.41	0.065	0.41
		28	<0.02~0.12	0.041	0.12
		35	<0.02~0.10	0.023	0.10

2.2 残留消解试验结果

按1.2.1和1.2.3节的试验设计要求,在北京市大兴区、河南省驻马店市和安徽省宿州市、辽宁省大连市进行施药和采样,获得其在桃上的消解趋势。如表5所示,苯醚甲环唑在4地桃上的消解规律均符合一级动力学方程。根据试验结果可知,当施药后2 h时,苯醚甲环唑在桃上的初始沉积量分别为0.32 mg/kg(北京市大兴区)、0.25 mg/kg(河南省驻马店市)、0.40 mg/kg(安徽省宿州市)和0.44 mg/kg(辽宁省大连市),河南原始沉积量低于其余3地。随时间延长,苯醚甲环唑在4地桃上的残留量逐渐降低,呈负指数函数变化。苯醚甲环唑在桃中的半衰期为6.60~13.08 d,4地消解趋势基本一致,但其在河南驻马店消解速度最快,北京最慢,这可能与各地气候条件、温湿度和pH等因素有关。

表 5 苯醚甲环唑在桃上的消解参数

试验地	消解动态方程	相关系数	半衰期/d
北京市大兴区	C _t =0.305 9e ^{-0.055t}	0.906 2	12.60
河南省驻马店市	C _t =0.251 5e ^{-0.105t}	0.977 7	6.60
安徽省宿州市	C _t =0.419 4e ^{-0.059t}	0.968 8	11.75
辽宁省大连市	C _t =0.494 8e ^{-0.053t}	0.821 8	13.08

2.3 最终残留试验结果

通过规范残留田间试验得到2种农药在8个主要桃产区中的残留量。如表6所示,随着采收间隔期的延长,苯醚甲环唑在桃上的残留量、残留中值以及最高残留量均逐渐降低。其中,距末次施药21 d时采集桃样品,苯醚甲环唑在桃上的残留量小于0.02~0.41 mg/kg,规范残留试验中值(STMR)为0.065 mg/kg,最高残留量(HR)为0.41 mg/kg。根据我国国家标准规定:苯醚甲环唑在桃上的最大残留限量(MRL)为0.5 mg/kg^[18];欧盟、日本、美国和CAC规定:苯醚甲环唑在桃上的MRL值分别为0.5、1、2.5 mg/kg和0.5 mg/kg^[19]。因此,该农药在不同地区桃上的残留量均低于我国或国外现有规定的最大残留限量标准。

2.4 膳食风险评估

2.4.1 慢性膳食暴露风险评估

根据GB 2763—2021《食品安全国家标准 食品中农药最大残留限量》规定:苯醚甲环唑的ADI值为0.01 mg/kg bw^[18],采用推荐有效剂量133.3 mg/kg,施用苯醚甲环唑2次,于末次施药后21、28 d和35 d时采样,桃中苯醚甲环唑规范残留试验中值(STMR)分别为0.065、0.041 mg/kg和0.023 mg/kg。以我国一般人群平均体重为53.23 kg^[20]、3~5岁儿童平均体重为17.63 kg^[21]计,结合WHO中国各年龄组居民不同百分位点的膳食消费量/体重调查数据,采用1.6.2节公式计算在不同百分位点膳食消费量情况下苯醚甲环唑对慢性风险商的贡献率(RQ),结果如表7所示。

表 7 苯醚甲环唑在桃上的残留的慢性膳食风险评估结果

消费群体	采收间隔期/d	膳食 50% 位点		膳食 95% 位点		膳食 97.5% 位点	
		$F_i/(g \cdot d^{-1})$	$RQ_c/\%$	$F_i/(g \cdot d^{-1})$	$RQ_c/\%$	$F_i/(g \cdot d^{-1})$	$RQ_c/\%$
一般人群	21		0.019		0.052		0.066
	28	1.569 8	0.012	4.237 3	0.033	5.402 5	0.042
	35		0.007		0.018		0.023
3~5岁儿童	21		0.118		0.242		0.380
	28	3.188 1	0.074	6.565 7	0.153	10.317 5	0.240
	35		0.042		0.086		0.135

2.4.2 急性膳食暴露风险评估

根据JMPR的相关规定,苯醚甲环唑的急性参考剂量(ARfD)为0.3 mg/kg bw^[23]。基于最终残留试验,其在桃上的最高残留量(HR)为0.41 mg/kg,桃果单重为0.255 kg,变异因子为3^[22]。本研究根据1.6.3节的公式计算了在中国不同年龄段消费者群体中苯醚甲环唑的IESTI和RQ_a,相关研究结果见表8和图1。

根据表8所示,无论男性还是女性,其急性膳食

由表7可以看出,将我国人群分为一般人群和3~5岁儿童时,桃中苯醚甲环唑残留量对风险商的贡献率远远小于100%,为0.007%~0.380%。同一消费群体,风险商贡献率随着消费位点的增大而增大,随着采收间隔期的延长而降低。本研究试验结果与其他作物上的评估结果基本一致^[11-14,22]。综上,苯醚甲环唑在桃上残留的风险商贡献率较低,即从膳食暴露风险评估角度来看,其在桃上的使用是安全的。同时,从表中数据可以看出3~5岁儿童的膳食评估风险商贡献率均比一般人群高,这可能是由于儿童与一般人群的体重存在差异所致。因此,相关部门在开展膳食风险评估工作时应多注重儿童膳食安全。

暴露风险商均随着年龄的增加而降低。其中,女性高于男性,儿童较其他人群高,其在桃中的急性膳食暴露风险商在1.50%~5.97%,表明风险处于可接受水平。

如图1所示,不同消费人群的急性膳食暴露风险均存在差异,RQ_a值随着年龄的增加而降低,这表明以有效成分和最短收获间隔期对桃施用40%苯醚甲环唑乳油后,其急性膳食暴露风险较低,不会对中国不同消费群体造成潜在的风险。

表 8 不同消费人群对桃上苯醚甲环唑的急性膳食暴露风险评估结果

性别	年龄/岁	平均体重/kg	$LP^{[24]}/[g \cdot (kg \text{ bw } d)^{-1}]$	$IESTI/[mg \cdot (kg \text{ bw } d)^{-1}]$	$RQ_a/\%$
男	3	15.8		0.015 9	5.31
	4	17.9	6.565 7	0.014 4	4.79
	5	20.2		0.013 0	4.35
	6~8	25.8		0.012 4	4.15
	9~11	35.8	10.569 1	0.010 2	3.39
	12~14	48.4		0.008 7	2.88
	15~17	57.6	4.563 7	0.005 5	1.83
	18~44	67.0		0.005 0	1.66
	60~74	63.9	3.252	0.004 6	1.54
	≥75	60.5	2.564 1	0.004 5	1.50

(续表 8)

性别	年龄/岁	平均体重/kg	LP ^[24] /[g·(kg bw d) ⁻¹]	IESTI/[mg·(kg bw d) ⁻¹]	RQ _d /%
女	3	15.3	10.317 5	0.017 9	5.97
	4	17.2		0.016 4	5.46
	5	19.4		0.015 0	5.00
	6~8	24.6		0.011 8	3.94
	9~11	34.1	8.064 5	0.009 4	3.15
	12~14	45.9	4.863	0.007 9	2.62
	15~17	51.5		0.006 1	2.02
	18~44	56.7		0.005 7	1.89
	60~74	57.3	4.251 5	0.005 4	1.80
	≥75	53.0	2.331	0.004 9	1.63

注：此处LP指大份额膳食消费量(97.5%膳食消费量)，计算单位为g/(kg bw d)。

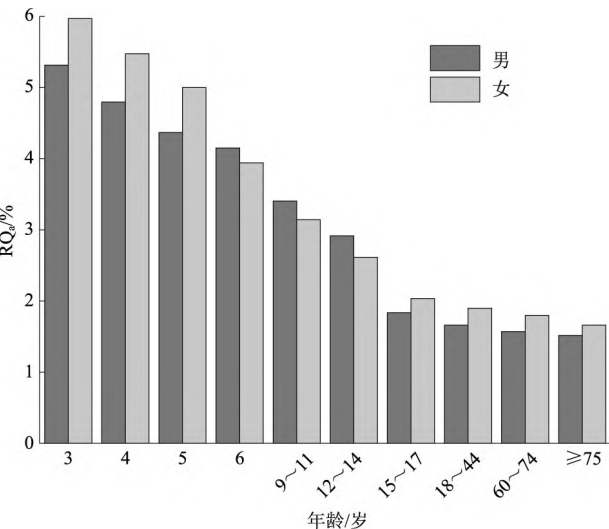


图 1 不同消费人群对桃上苯醚甲环唑的急性膳食暴露风险评估示意图

3 结论

本研究采用液相色谱-串联质谱(UPLC-MS/MS)法,对苯醚甲环唑在桃上的残留水平进行定性和定量分析。结果显示,所用方法的稳定性好、灵敏度高,符合农药残留检测要求,能够准确评估其安全性。

本研究用40%苯醚甲环唑乳油,以有效剂量133.3 mg/kg于桃褐斑穿孔病发病初期喷雾施药2次,施药间隔7 d进行残留消解试验。结果显示,苯醚甲环唑在桃上的消解规律符合一级动力学方程,半衰期为6.60~13.08 d,但在不同试验地区的消解速度有所差异。农药残留消解受到很多因素的影响,包括温度、湿度、光照、降水量、pH、土壤状况和作物种类等^[25]。Dong等^[26]于2015、2016年在上海地区进行残留消解试验,得出苯醚甲环唑在桃上的半衰期分别为25 d和9.0 d,与本次试验结果不一致,说明苯醚甲环唑

在不同环境下的消解速度会有所不同。此外,相关研究表明,苯醚甲环唑在香蕉、芒果、三七植株、葡萄、大白菜、菜豆、芹菜中的半衰期分别为20.4 d^[13]、10.6~13.2 d^[27]、12.3~12.8 d^[28]、5.6~16.4 d^[29]、6.6~7.8 d^[30]、8.3~9.7 d^[30]和5.2~8.8 d^[31],说明苯醚甲环唑在不同作物种类之间的消解速度也存在差异。综上,各地不同的环境条件及作物种类等因素均可能导致苯醚甲环唑的残留消解行为具有差异。

根据本次最终残留试验结果,参照WHO桃膳食消费量以及我国不同年龄消费人群的平均体重进行膳食风险评估,得出桃中苯醚甲环唑对不同年龄消费人群的慢性膳食暴露风险商的贡献率为0.007%~0.38%,按照风险最大化原则,推荐使用97.5%膳食消费位点进行风险评估分析;其急性膳食暴露风险商在1.50%~5.97%。以上结果表明,苯醚甲环唑在桃上的残留不会对中国不同消费人群造成潜在的风险。然而,在此风险评估中,儿童的风险远高于成人,这可能是由于儿童体重远小于成人。研究表明,儿童是弱势群体,他们易受到农药残留所造成的危害^[32],故建议相关部门应尽快完善我国膳食风险评估方法,并充分考虑低龄儿童的膳食安全。

参考文献

[1] 曾文芳, 王志强, 牛良, 等. 桃果实肉质研究进展[J]. 果树学报, 2017, 34(11): 1475-1482.

[2] 牛良, 曾文芳, 潘磊, 等. 硬质桃研究现状及展望[J]. 果树学报, 2020, 37(8): 1227-1235.

[3] 马成战. 桃的营养与保健[J]. 绿化与生活, 1996(3): 21-22.

[4] 宋长年, 徐康, 董瑞萍, 等. 桃病害防治技术研究进展[J]. 安徽农业科学, 2021, 49(22): 33-35.

[5] 李海飞, 聂继云, 徐国锋, 等. 桃中农药残留分析及膳食暴露评估研究[J]. 分析测试学报, 2019, 38(9): 1066-1072.

- [6] 华乃震. 杀菌剂苯醚甲环唑的进展和应用[J]. 世界农药, 2013, 35(6): 7-12; 43.
- [7] 蒋政华, 王泽新, 张慧颖, 等. 桃软腐病的病原菌鉴定与高效防治药剂筛选[J]. 果树学报, 2021, 38(7): 1136-1146.
- [8] 张帅, 李世雄, 杨太新, 等. 苯醚甲环唑和吡唑醚菌酯混合物对炭疽病菌的联合毒力及药效[J]. 植物保护, 2013, 39(6): 160-163.
- [9] REUVENI M, GUR L, HENRIQUEZ J L, et al. A new highly effective hybrid fungicide containing difenoconazole and tea tree oil for managing scab of apple, pecan and almond trees and as a tool in resistance management[J]. Plant Pathology, 2022, 71(8): 1774-1783.
- [10] CHEN X G, ZHENG J Y, ZHANG J, et al. Exposure to difenoconazole induces reproductive toxicity in zebrafish by interfering with gamete maturation and reproductive behavior[J]. The Science of the Total Environment, 2022, 838(1): 155610.
- [11] NOEGROHATI S, SULASMI S, HERNADI E, et al. Dissipation pattern of azoxystrobin and difenoconazole in red dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*) cultivated in Indonesian highland (West Java) and coastal area (D.I. Jogjakarta) and its implication for dietary risk assessment[J]. Food Quality and Safety, 2019, 3(2): 99-106.
- [12] 凌淑萍, 付岩, 王全胜, 等. 苯醚甲环唑和吡唑醚菌酯在西瓜中的残留分析及膳食风险评价[J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(3): 1215-1223.
- [13] 赵方方, 张月, 乐渊, 等. 氟唑菌酰胺和苯醚甲环唑在香蕉上的残留分析及膳食风险评估[J]. 热带作物学报, 2021, 42(5): 1448-1454.
- [14] 胡秀卿, 张昌朋, 俞建忠, 等. 稻米中苯醚甲环唑残留及其膳食摄入风险评估[J]. 浙江农业科学, 2019, 60(10): 1873-1876; 1881.
- [15] 中华人民共和国农业部. NY/T 788—2018 农作物中农药残留试验准则[S]. 北京: 中国农业出版社, 2018.
- [16] 中国农业科学院农业质量标准与检测技术研究所. 农产品质量安全风险评估: 原理、方法和应用[M]. 北京: 中国标准出版社, 2007: 186-188.
- [17] FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Report of the joint meeting of the FAO panel of experts on pesticide residues in food and the environment and the WHO core assessment group on pesticide residue [DB/OL]. (2019-12-20) [2022-08-30]. https://www.who.int/foodsafety/areas_work/chemical-risks/gemsfood/en/.
- [18] 中华人民共和国农业农村部. GB 2763—2021 食品安全国家标准 食品中农药最大残留限量[S]. 北京: 中国农业出版社, 2021.
- [19] 姜遥, 赵汉豪, 张荣封, 等. 国内外桃农药残留限量比对分析[J]. 浙江农业科学, 2022, 63(2): 210-218; 221.
- [20] FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Report of the joint meeting of the FAO panel of experts on pesticide residues in food and the environment and the WHO core assessment group on pesticide residue [DB/OL]. (2021-09-30) [2022-08-30]. https://www.who.int/foodsafety/areas_work/chemicalrisks/gems-food/en/.
- [21] 常继乐, 王宇. 2010—2013 年中国居民营养与健康状况监测综合报告[M]. 北京: 北京大学医学出版社, 2016: 61.
- [22] 林永熙, 程海燕, 李栋, 等. 吡唑醚菌酯和戊唑醇在桃上的残留与膳食风险评估[J/OL]. (2022-09-10) [2023-01-10]. DOI:10.16801/j.issn.1008-7303.2022.0073.
- [23] 孙瑞卿, 乔雄梧, 秦曙. 中国食品中农药MRL标准对急性膳食暴露评估需求的研究[J]. 农药学报, 2015, 17(5): 544-554.
- [24] WORLD HEALTH ORGANIZATION. The food safety collaborative platform[EB/OL]. (2022-10-18) [2023-01-10]. <https://apps.who.int/foscollab/Download/DownloadConso/>.
- [25] GOGOI B K, DUTTA N N, GOSWAMIA P, et al. A case study of bioremediation of petroleum-hydrocarbon contaminated soil at a crude oil spill site[J]. Advances in Environmental Research, 2003, 7(2): 767-782.
- [26] DONG M F, MA L, ZHAN X P, et al. Dissipation rates and residue levels of diflubenzuron and difenoconazole on peaches and dietary risk assessment[J]. Regulatory Toxicology and Pharmacology, 2019, 108.
- [27] 赵方方, 张月, 吕岱竹, 等. 苯醚甲环唑在芒果中的消解动态[J]. 江苏农业学报, 2016, 32(5): 1177-1181.
- [28] 张雪燕, 代雪芳, 毛佳, 等. 苯醚甲环唑在三七中的残留及其膳食风险评估[J]. 农药学报, 2013(1): 91-97.
- [29] 高川, 张肖肖, 覃慧丽, 等. 苯醚甲环唑在葡萄中的残留分析及消解动态[J]. 农药, 2013, 52(3): 202-203.
- [30] 杨桐. 苯醚甲环唑在大白菜、菜豆、葡萄及土壤中的残留测定和消解动态研究[D]. 北京: 北京化工大学, 2008.
- [31] 陈武瑛, 陈昂, 李凯龙, 等. 苯醚甲环唑在芹菜和土壤中的残留行为及风险评估[J]. 农药学报, 2022, 24(6): 1500-1507.
- [32] GUO J, LI M M, LIU Y G. Residue and dietary risk assessment of chiral cyflumetofen in apple[J]. Molecules, 2018, 23(5): 1060-1072.

(责任编辑:高蕾)

欢迎订阅《现代农药》(双月刊) 定价:120 元/年

编辑部电话:025-86581148 传真:025-86581147 联系人:靳红华